



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



KARDAN MİLİ ÜRETİM HATTININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Zeynep Naz AYVALI

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

İzmir

2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Kardan Mili Üretim Hattının Termodinamik Analizi

Zeynep Naz AYVALI

Danışman(lar) : Prof. Dr. Önder ÖZGENER
Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Enerji Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

Sayın Zeynep Naz Ayvalı tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “**Kardan Mili Üretim Hattının Termodinamik Analizi**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 24/06/2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı: Prof Dr. Önder ÖZGENER

.....

Üye : Doc. Dr. Can ÇİVİ

.....

Üye :Dr. Öğr. Üy. Halide DİKER

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “KARDAN MİLİ ÜRETİM HATTININ TERMODİNAMİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24/05/2022

İmzası

Zeynep Naz Ayvalı

ÖZET***KARDAN MİLİ ÜRETİM HATTININ TERMODİNAMİK
ANALİZİ***

AYVALI, Zeynep Naz

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder ÖZGENER

Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

Mayıs 2022, 36 sayfa

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacı ve sınırlı enerji kaynakları göz önüne alındığında, enerji kullanımı daha verimli hale getirebilecek olan enerji ve ekserji analizi çalışmaları büyük önem kazanmaktadır. Bu analizler sayesinde, sistemlerde ve ekipmanlarda enerji tüketim ve verimlilik değerleri teşhis edilebilir ve verimlilik analizleri yapılabilir. Endüstride de bu sistemlerde enerji kullanım ve verimlilik değerleri, bu değerlerin ekonomik yansımaları büyük önem taşımakta ve sürekli olarak bu verimlilik değerlerini arttırmaya yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Boya kürleme fırınlarında gerçekleşen boya kurutma prosesi, Manisa'da işletilen otomotiv yan sanayisi için metal parça üretimi yapan bu işletmedeki ana enerji tüketim paylarından birini almaktadır. Gerçek işletme verileri kullanılan bu çalışmada amaç ilgili işletme başta olmak üzere verimlilik analizi yapmak sektörel olarak öne çıkabilecek öneriler sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Termodinamik Analiz, Ekserji Analizi, Boya Kürleme

ABSTRACT
THERMODYNAMICS ANALYSIS OF THE PROPSHAFTS
PRODUCTION LINE

AYVALI, Zeynep Naz

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Supervisor: Prof. Dr. Önder ÖZGENER

Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

May 2022, 36 pages

Due to the continual increase in energy demand and limited energy resources, energy and exergy analysis studies have gained importance in recent years. The extent and sources of energy losses in engineering systems can be determined because of these analyses, and system efficiency can be improved. For the industrial sector, continuous expansion and growth is critical. Similarly, in engineering design, the basic purpose is to minimize expenses or maximize gain. The drying process in paint drying ovens, which is one of the key energy consumptions in the manufacturing process steps of a company that makes steel components for the automotive supplier industry in Manisa, was studied using real operating data in this study. The purpose of this paper is to determine the energy and exergy belts on a sectoral basis in the light of the examined company and to make efficiency analysis.

Keywords: Thermodynamics analysis, exergy analysis, paint curing

ÖNSÖZ

Günümüzde katlanarak her alanda artan tüketim alışkanlıkları, gereksiz enerji tüketimi ve dolayısı ile gün geçtikçe artan çevre kirliliğinin önüne geçebilecek her türlü çalışma ve yapılacak öneri günümüzde önem ile değerlendirilmelidir.

Toplumsal ve büyük değişiklikler öncesinde kişiler önce bireysel ardından da bulunulan çevrelerinin alışkanlık ve alışılmış düzenleri değiştirip iyileştirerek enerji tasarrufu ve verimlilik kavramları kendilerine ve çevrelerine entegre etmeleri gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında da bu amaçlar ile yola çıkılmış olup, bünyesinde bulunduğum işletmede enerji tasarrufuna gidilebilecek sistemlerin araştırılması ve araştırılacak sistemin iyileştirilmesi yönünde enerji ve ekserji analiz yöntemleri kullanılarak sistemin termodinamik ve verimlilik analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma esnasında başta her zaman destek ve yardımları ile yanımda olan, bilgi birikimi ve tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen çok değerli danışmanlarım Prof. Dr. Önder ÖZGENER ve Prof. Dr. Leyla ÖZGENER olmak üzere, bu tez çalışmasında kullanılan gerekli verilerin temini konusunda yardımcı ve destekleyici olan iş arkadaşlarım ve değerli yöneticilerim ve ilgili kuruma, her daim desteklerini yanımda hissettiğim çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR
24 / 05 / 2022

Zeynep Naz AYVALI

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ.....	v
1- GİRİŞ.....	1
2- LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
3- DURUM ÇALIŞMASI.....	9
4- SİSTEMİN MODELLENMESİ	14
4.1 – Belirsizlik Analizi.....	14
4.2 – Kütle Dengesi	15
4.3 – Enerji Dengesi	16
4.4 – Ekserji Analizi	16
4.5 – Termodinamik Parametreler.....	18
5- BULGULAR VE TARTIŞMA.....	20
5.1 – Eksergoekonomik Analiz.....	23
5.2 – Yaşam Döngüsü Analizi ve CO ₂ Emisyonu.....	25
5.2.1 Ürün yaşam döngüsü amaç ve kapsamı.....	26
5.2.2 Sistem girdi ve çıktılarının analizi	26
5.2.3 Sistemdeki CO ₂ emisyon hesabı.....	26
5.2.4 Ürün yaşam döngüsü analizi yorumlanması	27
5.3 – Kurutma / Kırılma Süresi	27
6- SONUÇLAR VE ÖNERİLER	28
KAYNAKLAR DİZİNİ	30
TEŞEKKÜR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	36

Tablolar Dizini

Tablo 1 Boya kürleme fırınının farklı durumlarındaki havanın ve ürünlerin fiziksel ve termal zellikleri	13
Tablo 2 Boya kürleme fırını belirsizlik analizi parametreleri.....	14
Tablo 3 Boya kürleme fırınının enerji, ekserji değerleri ve termodinamik parametreler tablosu.....	21
Tablo 4 Sistemin (boya kürleme fırınının) eksergoekonomik parametreleri	23

Şekiller Dizini

Şekil 1 Arkadan çekişli bir araçtaki kardan mili yerleşimi [51]	9
Şekil 2 Boya prosesi akış şeması	9
Şekil 3 Şematize edilmiş boya kürleme fırını	11
Şekil 4 Enerji akış diyagramı	20
Şekil 5 Ekserji akış diyagramı	21
Şekil 6 Ekserji verimliliğinin, sisteme giren temiz hava sıcaklığına göre değişimi	22
Şekil 7 Temiz hava sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değişimine göre sistemin geliştirilebilirlik potansiyeli grafiği	23
Şekil 8 R_{en} değerinin temiz hava sıcaklık değerine göre değişim grafiği	24
Şekil 9 R_{ex} değerinin temiz hava sıcaklık değerine göre değişim grafiği	25

SEMBOLLER

C	Özgöl Isı	kJ/kgK
Ex	Ekserji	kW
$\dot{F}$	Yakıtın Ekserji Değeri	kW
h	Entalpi	kJ/kg
i	Tersinmezlik Değeri	kW
L	Termodinamik Kayıp Değeri	kW
$\dot{m}$	Kütlesel Debi	kg/s
$\dot{P}$	Ürünün Ekserji Değeri	kW
$\dot{Q}$	Isı Kaybı	kW
R	Termodinamik Kayıp Oranı	W/USD
R_a	Gaz Sabiti	kJ/kgK
R_b	Buhar Sabiti	kJ/kgK
s	Entropi	kJ/kgK
T	Sıcaklık	K ya da (°C)

YUNAN HARFLERİ

ξ	Eksergetik Faktör	(-)
ε	Ekserji Verimi	(-)
n	Enerji Verimi	(-)
X	Relatif Tersinmezlik	(-)
δ	Yakıt Tüketim Oranı	(-)
ω	Nem	kg(su)/kg(hava)
Σ	Verimlilik Eksikliği	(-)
P	Özgül Kütle	kg/m ³
φ	Özgül Ekserji	kJ/kg
θ	Hacimsel Debi	m ³ /h

KISALTMALAR

AD	Sistemde tüketilen ya da üretilen yakıt türünü
CF	Kaynak tüketimi sonucu salınan CO2 miktarı
CH	Kimyasal Ekserji
ç	Çıkış
EF	Kullanılan yakıtın birim yükü
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
g	Giriş
h	Hava
<i>i</i>	1, 2, 3,...
KN	Kinetik Ekserji
LCA	Yaşam Döngüsü Analizi
OEM	Orijinal Ekipman Üreticisi
PH	Fiziksel Ekserji
PE	Potansiyel Ekserji



1- GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıtların tükenmekte oluşu, mevcut yenilenebilir enerji sistemlerinin endüstriyel kullanımdaki yüksek yatırım maliyetleri ve sürekli artan enerji ihtiyacı ve enerji üretim ve tüketim maliyetleri nedeni ile enerji verimlilik ve enerji tasarrufları gündemde önemli konular haline gelmiştir.

Bu çalışmada çelik hammadde ile otomotiv yan sanayi sektörüne kardan mili üretimi yapılan bir fabrikadaki boya kürleme fırını hattının termodinamik analizi yapılmıştır. Kardan mili bir güç aktarım elemanı olup, bilhassa ticari araçlarda önemli bir komponenttir. Bu çalışmada, incelenecek hat seçilirken fabrika bünyesinde bulunan birçok hattın henüz çok yeni olması ve dolayısıyla verimlilik değerlerinin yüksek olması, proses zamanı ve enerji tüketimi oranı, termal verilerin toplanabilme kolaylıkları gibi faktörler göz önüne alınmış ve en optimum hat olarak boya kürleme fırını belirlenmiştir.

Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları ile bu boya kürleme fırının termodinamik analizi ve yapılmış, eksergoekonomik analiz ve LCA(Life Cycle Assessment) ile hattın termo-ekonomik analiz ve maliyet geri dönüşümü hesaplanmış. Verilen öneriler ile CO₂ emisyonundaki düşüş oranı hesaplanmıştır.

Bu çalışma sırasında geçmişte yapılan birçok çalışma incelenmiştir. Mevcut araştırmalara göre otomotiv endüstrisi için çelik komponent üreten bir fabrikada boya kürleme fırınının termodinamik ve termoeekonomik analizlerine dair veri elde edilememiştir.

Bu çalışmanın amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Sistemin enerji, ekserji ve eksergoekonomik parametrelerinin analiz edilmesi,
- Proseste enerji ve ekserji kayıplarının en aza indirilmesi
- Enerji maliyetini en aza indirilmesi
- Proses enerji ve ekserji veriminin en üst seviyeye çıkarılması

2022 yılı mart ayında tamamlanan literatür araştırmaları sonucunda Web of Science sitesinde yapılan taramalarda “kurutma” anahtar kelimesiyle 721.041; “boya kurutma” ile 2.473 çalışma ve bu makalede incelenen konu olan “boya kürleme kurutma fırını” ile 16 adet makale bulunmuştur. Bu makalelerde, otomotiv endüstrisindeki boya kurutma mekanizması [1] araçlarda su bazlı boyalardan suyun buharlaşması [2], boya kurutma mekanizması gibi benzer konular olmakla birlikte, çeşitli tipteki boyahanelerde olası incelemeler bir otomotiv imalat firmasında otomotiv gövdesi [3, 4, 5] ve ayrıca boya yüzey kalitesi araştırmaları [6, 7, 8] tespit edilmiştir., çalışmaların hemen hemen tamamı kurutma sırasındaki kimyasal mekanizmaların analizi veya boya kalitesinin iyileştirilmesi üzerinedir.

Sistemlerdeki karma termodinamik analizler sayesinde, sistemdeki kullanılabilir olmayan atıl haldeki enerji türlerinin boyutu ve nedeni tespit edilebilmektedir. Sistemlerdeki enerji kayıplarının azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılabilmesini sağlamak için çeşitli tasarımsal ve işletme faaliyetinde uygulanabilecek metotlar aranmaktadır. Termodinamik analizlerde ekserji kayıpları ve yıkımlarının araştırılması da daha verimli kaynak kullanımı için yöntemler tasarlamak için faydalı bilgiler sağlamaktadır. Gerçek işletmelerde aktif olan sistemler araştırılırken, sistemin işletme maliyeti, ürün maliyeti gibi konuların yanı sıra sistemdeki mevcut verimlilik, enerji kayıpları ve ekserji yıkımlarının sistemin yatırım maliyetine oranları da araştırılarak daha kapsamlı bir inceleme yapılmaktadır. Yapılan termodinamik analizlerin yanı sıra ekonomik açıdan incelemelerde, enerji analizlerine ek olarak ekserji analizlerinin göz önüne alınması daha tutarlı bir analiz sağlamaktadır [9, 10, 11, 12].

EMO tarafından yayınlanan rapor sonuçlarına istinaden, 2019 yılında yalnızca endüstriyel sanayi bölgeleri tarafından tüketilen elektrik miktarı 94,463GWh iken 2020 yılında %5,62 yükselerek 99,77 GWh seviyelerinde [13]. Ülkemiz sanayi sektöründe büyük bir üretim ve iş hacmine sahip olan otomotiv OEM ve yan sanayi hem ürün geliştirme hem de üretim teknolojileri geliştirme ve iyileştirmeleri açısından gelişime açık bir alandır. Gün geçtikçe artan üretim miktarları ve dolayısı ile artan enerji tüketim oranları ile yaratılabilecek her türlü enerji tasarrufu toplam enerji tüketim miktarlarında göz ardı edilemeyecek farklar yaratma kapasitesine sahiptir.

Her imalat endüstrisi gibi, otomotiv endüstrisi de sürekli olarak ekonomik, çevresel, politik ve pazarlanabilirlik endişeleriyle ilgilenmektedir. Bu çalışmada otomotiv sektörü için üretilmiş bir ürünün boya kürleme prosesinin termodinamik analizi yapılacak ve olası öneriler tartışılacaktır [14]. Boya kürleme teknolojisi, başta otomotiv sanayi olmak üzere sanayide kullanım alanı oldukça geniştir. Boyamanın en temel nedeni metal gövdeyi korumak olduğundan, boyandıktan sonra ürün doğal olarak kuruyabilir ancak yüzey kalitesinin daha kalıcı olması, deformasyonların önlenmesi ve en önemlisi işlem süresinin kısaltılması için; boyanan ürün kürlenmelidir. Kürleme işlemi bir tür kurutma mekanizmasıdır, solvent üründen buharlaşır ve kurur [15, 16, 17].

Bu çalışma motivasyonları, ilgili işletmenin sektördeki yerini ve sürecin toplam üretim sürecine göre enerji tüketim payını değerlendirdiğimizde şu şekilde sıralanmaktadır,

- Alanında Türkiye'de ve Avrupa'da lider üreticilerden biri olan bu işletmede gözlem yaparak gerekli ölçüm ve işletme verilerini elde etme imkanına sahip olmak.
- Boya prosesi bu ve benzer ürünlerde korozyon dayanımının artırılması için önemli bir proses olup, boyama prosesi ve boya kalitesinden vazgeçilememektedir. Dolayısı ile de bu proses ürün üretimleri boyunca günümüz teknolojileri ile sürekli olmakta ve yüksek enerji tüketim maliyetleri ile tasarrufa açık bir alan olmaktadır.
- Bu işletmede meydana gelen olası bir enerji tasarrufu ile aynı veya farklı ürünü benzer proseslerle farklı alanlarda üreten firmalarda da kullanılabilir. Dünyada üretimde büyük paya sahip olan otomotiv ve çelik üreticilerini düşündüğümüzde, küresel olarak enerji tasarrufu için bu çalışma büyük bir fırsat sunabilir.
- Zamanla Avrupalı otomotiv üreticilerinin yanı sıra otomotiv sektörünün geri kalanı ve sektörde payı olan her üretici CO₂ emisyonlarını dikkate alacak, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmış ve bu kriteri ön plana çıkarmaya başlamıştır, tedarikçi seçimi, Enerji tüketimine göre CO₂ emisyonları artar ancak enerji tüketimi ile azaldığında CO₂ emisyonu da azalacaktır, bu çevre için ve elbette üreticiler için bir fayda olacaktır.

- Üretim süreçlerinde cari giderlerin azaltılması, enerji tasarrufu ile firmaların bütçelerinin yeniden düzenlenmesi ve bu sayede kaynak kullanımının daha etkin ve faydalı hale getirilmesi çalışmanın motivasyonları içinde yer almaktadır.



2- LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Günümüzde fosil yakıtların tükenmekte oluşu, mevcut yenilenebilir enerji sistemlerinin endüstriyel kullanımdaki yüksek yatırım maliyetleri ve sürekli artan enerji ihtiyacı ve enerji üretim ve tüketim maliyetleri nedeni ile enerji verimlilik ve enerji tasarrufları gündemde önemli konular haline gelmiştir. Verimlilik hesaplarının detaylandırılması ile birlikte, termodinamiğin birinci yasası ile yapılan enerji analizleri ve enerji verimliliği kavramları yetersiz kalmaya başlamış, referans durumunda çevre ile etkileşime giren bir sistemin iş potansiyelinin faydalı kısmı anlamına gelen ikinci yasa analizine yani ekserjiye olan ilgi artmıştır. Daha verimli bir sistem tasarlamak için en iyi yöntemlerden biri olan ve termal proses tasarımlarındaki verimsizlikleri belirleyip ortadan kaldırabilmek için kombine termodinamik analizler kullanılmaya başlanmıştır [18, 19, 20].

Dinçer'in 2002 yılında yayınlanmış çalışmasında kurutma sistemleri enerji, ekserji ve çevresel yönler ile kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada endüstriyel sistemler iki örnek ile ele alınmış, çıkan sonuçlar ile de kurutma sistem tasarımı sürecinde optimum sistem tasarımı yapılabilmesi için öneriler sunulmuştur [21]. Geçmişte yapılan çalışmalarda da birçok araştırmacı farklı kurutma prosesi ve sistemlerinin termodinamik analizleri üzerinde araştırmalar yapmış ve bu sistemler üzerinde çalışmalarını tamamlamıştır [22, 23, 24].

Dinçer ve Şahin 2004 yılında yayınladıkları makalede ekserji yaklaşımı ile kurutma proseslerinde kullanılabilecek olan yeni bir termodinamik analiz modeli sunmuşlardır. Ekserji verimi, ısı ve kütle transferlerinin bir fonksiyonu olarak verilebilir. Bu modelleme, mevcut sistemin doğrulanması ve aynı zamanda farklı kurutma havası sıcaklıklarında, ekserji değerleri, ürün ağırlıkları ve ortamın nem içeriği gibi değişkenler ile gerçek sistemlere uygulanabilirliği göstermek amacı ile tasarlanmıştır [25].

2007 yılında Özgener ve diğer araştırmacılar, kütle, enerji, ekserji ve maliyet muhasebesi analizleri yoluyla jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin eksergoekonomik analizi üzerinde çalışma gerçekleştirmiş ve Türkiye'deki Salihli jeotermal bölgesel ısıtma sistemi (SGDHS) için bir vaka çalışması yapmışlardır. Sistemdeki ekipmanlar ve tüm sistem için, yatırım miktarı, enerji ve ekserji

kayıpları ile arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu oranların referans sıcaklığa göre değişimini belirlemek için parametrik bir çalışma yapılmış ve sistemin optimum termodinamik ve ekonomik özelliklerinin sağlanacağı bir sonuç elde edilebilecektir [26].

Özgenerlerin 2009 yılında yayınladığı makalede, ekserji verimleri, kurutma havasının kuruma süresi ve sıcaklığının fonksiyonuna göre analiz edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda Dinçer ve Şahin'in çalışmasının gerçek kurutma işlemlerinde uygulanabilirliğinin örneklenmesi için de kullanılabilir [10].

Yıldırım ve Özgener, 2012 yılında, Aydın, Salavatlı bölgesine bulunan ve işletimde olan iki farklı jeotermal enerji bölgesinde (DORA1 – DORA2) enerji sistemlerinde farklı termal sıvıların kullanılması senaryolarının enerji ve ekserji analizlerini yapmış ve iyileştirme öneriler sunmuştur. Araştırmacılar ayrıca yatırım tutarlarının ve bakım maliyetlerinin bu enerji k ayıp ve ekserji yıkım değerleri üzerinden eksergoekonomik analizleri tamamlamışlardır [11].

Literatür araştırması çalışmalarında kurutma sistemlerinin termodinamik analizlerine dair birçok çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda birçok farklı sistemde farklı ürünler aracılığı ile farklı kurutma sistemleri incelenmiştir.

2000 yılında Lou ve Huang, otomotiv endüstrisinde, araç yüzeylerinde boyanın korunması, uzun ömürlü olması ve daha güzel bir görünüm sağlaması için kullanılan vernik işleminin reaktif kurutulması incelenmiştir. Vernik film yapımı ve kurutulmasındaki işlemsel karmaşıklık ve ölçüm zorluğu nedeniyle süreç parametreleri temelde bilinmemektedir. Bu nedenle, fırındaki çalışma ayarları yalnızca deneyime dayalıdır. Bu çalışmada sistemin analizi termodinamiğin birinci yasasına dayalı bir modelleme sunmuştur [1].

Özgener, 2007 yılında bir makarna üretim hattındaki makarna kurutma prosesini ele almışlar, verimlilik değerlendirmesi ve iyileştirilmesi için gerekli enerji ve ekserji çözümlemeleriyle sistemin termodinamik analizini yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan gerçek işletme verileri ile yapılan analizler sonucunda enerji kaybı ve ekserji yıkımlarındaki en büyük sebeplerden birinin kurutma odasındaki izolasyon eksikliği kaynaklı sızıntılardan olduğu tespit edilmiş ve bu etkenin geliştirilmesi yönündeki önerilerini sunmuşlardır [27, 28].

2007 yılında ise Koli ve diğer araştırmacılarca yapılan çalışmada laboratuvar ortamında sera koşulları sağlanarak kırmızı biber kurutulması simüle edilmiş aynı zamanda açık havada yapılan deneylerde de doğrudan güneş ile kurutma sağlanmıştır. Yapılan deneysel ve teorik çalışmamalar ile matematiksel modellemelerle desteklenmiş, elde edilen sonuçlar da teyit edilmiştir [29].

Merdipour ve diğer araştırmacılar, 2010 yılında otomotiv gövdelerine uygulanmış olan boyanın kürlleme mekanizmasının matematiksel modellemesi radyasyon fırının incelenmesi ile gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar sonrasında boya kürlleme fırınlarında nominal kürlleme noktası şartı ile fırın tasarım ve işletme kriterlerinde kullanılabilecek olan bir iyileştirme metot önerisi sunmuşlardır [3].

2018 yılında Yenikaya ve diğer araştırmacılar, genelde gıda kurutma proseslerinde kullanılan bir mikrodalga kurutma fırını otomotiv endüstrisinde kullanılan bir su bazlı boyanın boya çamurunun kurutulması araştırılmıştır, bu çamurun nem oranı ve hacmi endüstrilerdeki proses iyileştirilmesi ve maliyet kazancı açısından önemlidir bu işlemleri sağlamak için kurutma prosesi uygulanabilir. Yapılan araştırmada dielektrik sabiti, çamur formu (ham veya toprak), kurutma yöntemi (mikrodalga ve konvansiyonel), kurutma süresi ve havayla kürllemenin etkisini araştırarak otomotiv endüstrisinden su bazlı boya çamurunun mikrodalga kurutma sürecini analiz etmektedir. Sayısal modellemede iki farklı kurutma süresi karşılaştırılmıştır. 5 ve 10 dakikalık mikrodalga kurutma süreleri için sırasıyla %8 ile %12 ve %26 ile %31 arasında değişmektedir. Geleneksel yani konveksiyonel kurutma karşısında mikrodalga ile kurutma işlemi, nem kaybını yaklaşık %3 arttırmaktadır [5].

Özgenerlerin 2015 yılında yayınlanan makalesinde güneş enerjisi destekli bir jeotermal ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Sistemdeki güneş enerjisi paneli bir evdeki garaj yolu olarak dizayn edilmiştir. Yapılan analizler sonucundan enerji panelinin enerji verimi %22; ekserji verimi de %80 olarak hesaplanmıştır [30].

2020 yılında Giampieri ve diğer araştırmacıların yayınladığı otomotiv endüstrisinde iyileştirme ve sürdürülebilirlik kriterlerinin de ön plana çıkması üzerine yapılan araştırmalardan biri olan çalışmada, bir otomotiv üreticisindeki prosesler enerji tüketimleri ele alınarak incelenmiş ve sonucunda işletmedeki en

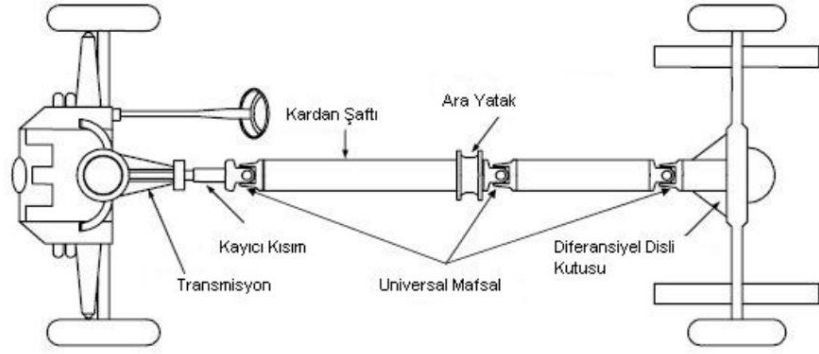
büyük enerji tüketim kaynağının boyahane prosesi olduğu tespiti yapılmıştır. Enerji tüketim oranını düşürebilmek için ısı kaybının düşürülmesi ve kontrol altına alınarak tekrar kullanılması önerilerinde bulunulmuş. Tekrar kullanılabilen ısı sayesinde nem kontrolü ve daha iyi boya kalitesi sonucu elde edileceği belirtilmiştir [17].

2016 yılında Saranjam ve diğer araştırmacılar, otomotiv sektöründe çelik malzemeler üzerinde uygulanan boyaların kalitesinin iyileştirilmesi için birçok çalışma yürütmüştür. Bu çalışmalar, boyama işleminde oluşan kabarcıkların önlenmesi için doğru kürleme sıcaklığı; işlem sonrasında oluşan dökülmelerin/soyulmaların önlenmesi için doğru solvent yoğunluğu ve kurutma/kürleme proseslerinin optimum tasarımları için analizler yapılmıştır [4, 7, 8].

Cavalcante ve diğer araştırmacıların 2020 yılında yayınlanan çalışması, otomobil montaj hattının temel aşamalarından biri olan boya kurutma/kürleme işleminin tamamlandığı boya kurutma fırının ısı transfer katsayılarının matematiksel modellenmesini göstermektedir. Bu çalışmada nihai boya kalitesinin bozulmadan, enerji maliyetlerinin düşürülmesi için endüstride yoğun olarak kullanılan bir fırın üzerinde çalışılmış ve bu fırının çalışma koşullarının optimizasyonu üzerinde kullanılabileceği belirlenmiştir [6].

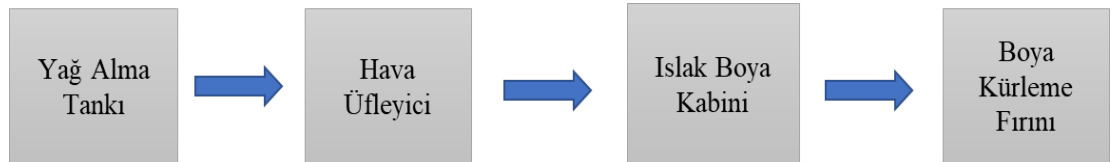
3- DURUM ÇALIŞMASI

Kardan mili önemli bir güç aktarım elemanı olup, arkadan çekişli araçlar başta olmak üzere bir çok kullanım alanı mevcuttur, alt şekil 1.1’de kardan milinin arkadan çekişli bir araçtaki yerleşimi şematize edilmektedir,



Şekil 1 Arkadan çekişli bir araçtaki kardan mili yerleşimi [51]

Bu çalışmada ilgili tesisteki boyama operasyonunun 4 temel adımından son aşaması olan boya kürleme fırınının termodinamik analizi yapılmıştır.



Şekil 2 Boya prosesi akış şeması

Boyahane prosesi ilk adımı önceki işlemler ardından ürünü boyama işlemi için hazırlamaktır. Talaşlı imalat ve montaj prosesleri ardından boyahaneye gönderilen ürünler üzerindeki çapak, yağ gibi kalıntılardan arındırılmak için yağ alma tankına gönderilir, burada su jetleri ile üzerindeki kalıntılar atılır. Boyama kabinine girmeden önce ürünün kurutulması gerekmektedir, hava üfleyiciler ile kurutulan ürünler yağ boya kabinlerinde kurutulur. incelenen proste, boya kürleme fırını konveksiyon ile ısı transferi prensibine dayanarak kurutma işlemini

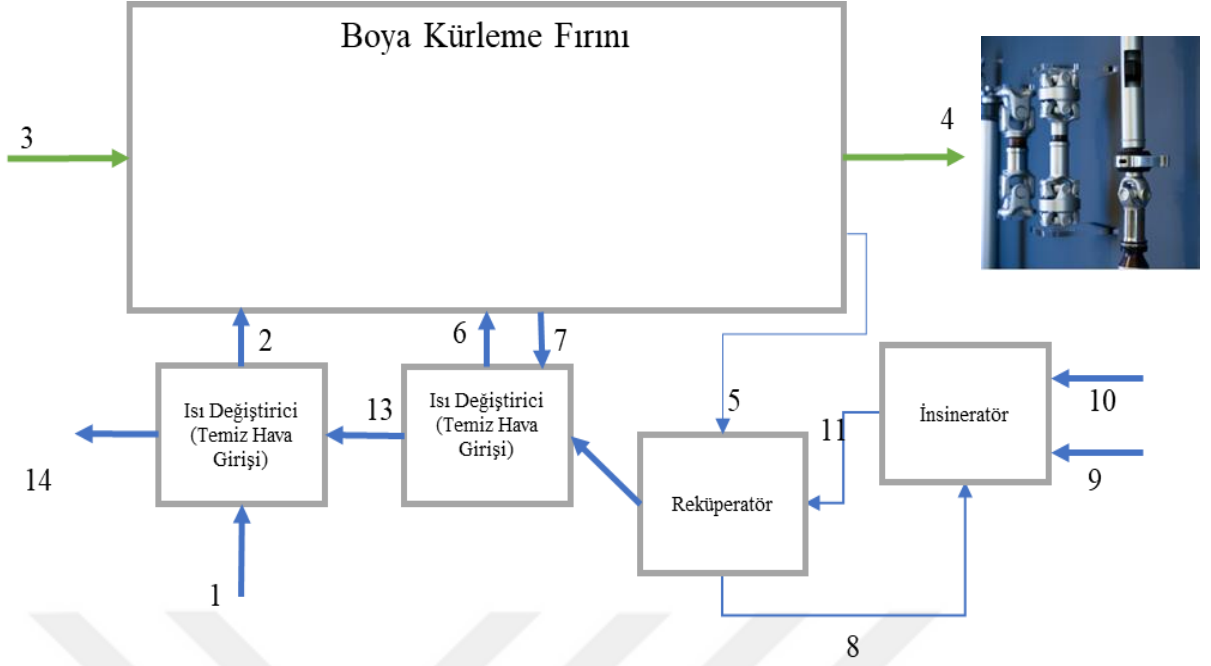
gerçekleştirmektedir. Konveksiyonel fırınlar gerekli ısı transferini ortamdaki kurutma havası ile sağlarlar, boya kürleme fırının amaçları;

- Ürünün fabrika içinde taşınmasını kolaylaştırmak,
- Kuruma prosesini hızlandırmak,
- Proses süresinin kısaltılması,

Bu çalışmada incelenen işletmedeki enerji tüketimi ve ekonomik giderler arasındaki en büyük yüklerden birini boyahane prosesi oluşturmaktadır. Boyahanedeki en büyük termal yükü üstelenen boya kürleme fırını konveksiyonel ısı transferine dayalı olarak kurutma/kürleme işlemini gerçekleştiren bir fırındır yani fırın içindeki ürünler, ısıtılmış kurutma havası ile konveksiyonel olarak ısınır. Isınan ürünlerdeki yağ boya sıcaklık, zaman etkisi ile kurur yani boya içinde bulunan çözücüler buharlaşır ve kuruma işlemi gerçekleşir. Sistemdeki olabilecek ani parlama ve patlamaların önüne geçebilmek için çözücü içeren hava sürekli olarak sirküle edilmekte ve çözücü buharı hava karışımı sürekli olarak dışarı atılmaktadır [6, 7, 26].

Ürünlerin boyanmasının ardından askıya yerleştirilen ürünlerin sıcaklıkları bulunduğu ortam sıcaklığından biraz daha yüksek olmaktadır. Boya kürleme proses süresi standart 50 dakika ve fırının tek proses süresindeki mevcut ürün kapasitesi 50 adet üründür.

Şekil 2’de boya kürleme fırını şematize edilmiştir, bu çalışmada 1 – 6 numaralı elemanlar arasındaki etkileşimler incelenmiş, 7 – 14 arasında numaralandırılmış olan ekipmanlar kimyasal etkileşimlerin fazla olması nedeni ile ihmal edilmiştir.



Şekil 3 Şematize edilmiş boya kırleme fırını

Hesaplamalar sırasında aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir,

- P_0 olarak Manisa şehrinin ortalama basınç değeri 101,325 kPa kabul edilmiştir.
- Sabit basınçta özgül ısı değerleri $C_{p,hava}$ ve $C_{p,b}$ sıcaklık değerine göre değişmektedir, hesaplamalar sırasında bu parametreler termodinamik tablolardan elde edilmiştir.
- Gaz sabiti ve buhar sabiti, $R_a=0,287$ kJ/kgK; $R_b=0,4615$ kJ/kgK olarak kabul edilmiştir.
- Ortalama nem değeri 0,45 kg(su)/kg(hava) Manisa şehrinin aylık ortalama nem değeri olarak alınmış ve özgül nem değeri de psikometrik diyagram sayesinde 0,079 kg(su)/kg(hava) olarak hesaplanmıştır.
- Hesaplamaların yapıldığı verilerin ait olduğu ölçüm sırasında fırın içinde olan tüm ürünler aynı ürün grubu içinde yer almakta, birbirinin aynısı ürünlerdir. Ürün giriş sıcaklıkları 36°C olarak belirlenmiştir.
- Hesaplamalarda ağustos ayına ait gerçek işletme verileri kullanılmıştır.
- Kimyasal reaksiyonlar ihmal edilmiştir.
- Sistemden atılan solvent buharı içeren hava karışımında solvent ihmal edilmiştir.

- Özgöl ısı, özgöl kütle değerleri termodinamik tabloları ve internet referanslarından alınmıştır [19],
- Hammadde, boya ve boyada kullanılan çözücü için gerekli olan tüm bilgiler, özgöl ısı değerleri gibi ilgili tedarikçilerden kişisel iletişimlerle alınmıştır.
- $C_{solvent} = 1,61 \frac{kJ}{kgK}$ (303,15 K sıcaklık değerinde); $C_{solvent} = 1,30 \frac{kJ}{kgK}$ (353,15 K sıcaklık değerinde); $C_{çelik} = 0,65 \frac{kJ}{kgK}$

Hattın kurucularından alınan bilgilere göre,

- Sirkülasyon hızı: 60.000 m³/h; fırın içindeki kurutma havasının sıcaklığını 80°C’de sabit tutabilmek için taze kurutma havası sıcaklığı ise 120°C olmalıdır.
- Fırın iç hacmi 300 m³ olup bu çalışmada belirtilen bir adet ürün hacmi ise 0,4 m³ işletme tarafından ağırlanmıştır.
- Kırılma fırını doğalgaz ile çalışmaktadır,
- Herhangi bir kıvılcım, patlama riskinin önüne geçilmesi için sisteme sürekli olarak temiz hava girişi yapılmaktadır.
- Çözücü solvent ağırlığı ölçüm değerlerine dayanarak elde edilmiştir: hatta bulunan toplam solvent ağırlığı $30 \frac{kg}{h}$ ’dır.
- Parametreler işletmede ilgili hatta görevli olan sistem mühendisinden alınmıştır.

Ekonomik varsayımlar,

- ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemleri nedeniyle işletme, yatırım, işletme ve bakım masraflarını paylaşmamaktadır. Bu nedenle her tutar aynı oranda değiştirilmiştir.
- Hattın yatırım tutarı USD para birimi ile belirtilmiştir.

Alt tabloda toplanan ve hesaplanan parametreler mevcuttur.

Tablo 1 Boya kürleme fırınının farklı durumlarındaki havanın ve ürünlerin fiziksel ve termal özellikleri

		Hacimsel debi Q (m ³ /h)	Kütleli debi $\dot{m}$ (kg/s)	Sıcaklık T (K)	Özgül ısı C (kJ/kgK)	Özgül kütle ρ (kg/m ³)
1	Temiz hava	3.503,40	1,169	303,15	1,006	1,201
2	Temiz kurutma havası	4.950	1,169	393,15	1,015	0,85
3	Yaş boya + ürün	-	0,258	309,15	0,465	-
4	Kurumuş boya + ürün	-	0,250	353,15	0,465	-
5	Solvent buharı içeren çıkış havası	4.476,1	1,169	353,15	1,01	0,94
6	Isıtılmış kurutma havası	60.000	14,667	373,15	1,013	0,88
7	Sirkülasyondaki kurutma havası	56.496,60	14,667	353,15	1,01	0,94

4- SİSTEMİN MODELLENMESİ

4.1 – Belirsizlik Analizi

Bu çalışmadaki veriler, ilgili işletmedeki boyahaneenin işletme çalışanları tarafından okunan ve sistemdeki sensör ve bilgisayarlar aracılığıyla hazırlanan raporlardan elde edilen sıcaklık değerleri gibi gerçek işletme verilerinden alınmaktadır, Bu nedenle toplanan verilerde, okuma koşulları, cihazdaki sensörlerin arızalanması, cihazın kalibrasyonu, hesaplama hataları gibi nedenlerle belirsizliklerin ve hataların oluşma ihtimali vardır, İşletmede aktif olarak kullanılan bu fırının, ölçüm verilerinin alındığı tarih aralığında sensörlerin arızalanması gibi sistemde olağan dışı bir hatanın olmadığı ve gerekli kalibrasyonların yapıldığına dair yetkili kişilerce gerekli kontroller yapılmış ve onaylanmıştır, Bu nedenle makineden alınan sıcaklık değeri ölçümlerinde hata payı tedarikçinin sunduğu değer olan $\pm 0,6$ °C, bunun yanında ürünün giriş sıcaklığı olarak kabul edilen değerler belirlenirken 100 ürünün giriş sıcaklığı yazar ve operatörler tarafından ölçülmüş ve giriş sıcaklığındaki belirsizlik oranı da deneysel olarak $\%-2,77$; $\%+3,3$ (-1 ; $1,2$ °C) ve özgül ısı, özgül kütle gibi diğer veri kaynaklarından alınan verilerdeki hata oranı da kaynaklarda belirtildiği üzere $\pm\%0,2$ olarak alınmıştır, Bu veriler ışığında yapılan belirsizlik analizinde kullanılacak olan veriler Tablo 2’de gözlemlenebilmektedir [32, 33, 34, 35],

Tablo 2 Boya küreme fırını belirsizlik analizi parametreleri

	Belirsizlik Oranı
Temiz Hava Sıcaklığı (°C)	$\pm 0,6$
Ürün Giriş Sıcaklığı (°C)	-1 ; $1,2$
Havanın Özgül Isısı	$\pm\%0,2$
Ekserji (kW)	$\%-0,71$; $\%3,76$
Enerji (kW)	$\%-1,12$; $\%2,05$
Enerji Verimliliği (%)	$\%-1,21$; $\%4,40$
Ekserji Verimliliği (%)	$\%-0,08$; $\%0,52$

4.2 – Kütle Dengesi

İşletmeden alınan parametrelerle sirkülasyon havası ve kurutma havasına dair hacimsel debi değerleri bilinmektedir. Hacimsel debi ve özgül yoğunluk değerleri ile hacimsel debi değerleri kütleli debi değerlerine çevrilmiş ve hesaplamalarda bu şekilde ilerlenilmiştir. Hesaplanan bu değerler Tablo1’de gözlemlenebilir.

Buharlaştırılan boya çözücüsü ve boya kütlesi. yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Yapılan ölçümler sırası ile boyama öncesi ürün kütlesi ölçümü, kütleme işlemi öncesi yaş boyalı ürün kütlesi ve kütleme sonrasında kuru boyalı ürün kütlesi ölçümleridir.

Bu çalışmada ele alınan ürünlerle, mevcut askı tasarımı ile tek seferde 50 adet ürün kürlenmektedir, $\dot{m}_3$, yaş boyalı ürün kütlesini, $\dot{m}_4$ kuru boyalı ürün kütlesini ve $\dot{m}_s$ ürünlerdeki solvent ağırlığını temsil etmektedir.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_s \quad (1)$$

Kütle dengesi denklemleri aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (2)$$

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_6 \quad (3)$$

$$\sum \dot{m}_{çıkış} = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_7 + \dot{m}_s \quad (4)$$

4.3 – Enerji Dengesi

Termodinamiğin 1. yasasına göre enerji yok edilemez ya da yoktan var edilemez, birbirine dönüştürülebilir, bu nedenle toplam enerji giriş ve çıkış değerleri eşit olmak zorundadır,

Enerji denge denklemleri aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\sum \dot{E}_{giriş} = \sum \dot{E}_{çıkış} \quad (5)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{giriş} x h_{giriş} - \sum \dot{m}_{çıkış} x h_{çıkış} \quad (6)$$

$\dot{Q}$ net ısı enerjisi; $\dot{W}$ net iş çıkışı; h entalpi $h = \text{Özgöl ısı} \times \text{Sıcaklık}$ olarak tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiş ve iş transferi olmadığı varsayılmıştır, bu varsayımlar ile denklem (6), denklem (7) olarak yazılabilmektedir.

$$\dot{Q} = \sum (\dot{m}CT)_{giriş} - \sum (\dot{m}CT)_{çıkış} \quad (7)$$

$$\dot{Q} = (\dot{E}_2 + \dot{E}_6 + \dot{E}_{ürün} + \dot{E}_{solvent,giriş}) - (\dot{E}_4 + \dot{E}_5 + \dot{E}_7 + \dot{E}_{solvent,çıkış}) \quad (8)$$

4.4 – Ekserji Analizi

Ekserji, enerji kavramının aksine tüketilebilir, yok edilebilirdir, Bir süreç sırasındaki ekserji tüketimi süreçle ilişkili tersinmezlikle oluşan entropi ile orantılıdır [9, 11].

Termodinamiğin ikinci yasası göz önüne alındığında, kütleme fırınının ekserji performansına ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir:

Enerji denklemleri gibi ekserji denklemi de bileşenlere bölünebilir.

$$Ex = Ex^{PH} + Ex^{KN} + Ex^{PT} + Ex^{CH} \quad (9)$$

Bu sistem incelenirken, kinetik ekserji, kimyasal ekserji, potansiyel ekserji, nükleer ekserji ve manyetik ekserjiler ihmal edilmiştir.

$$\dot{Ex}_{dest} = \dot{Ex}_{giriş} - \dot{Ex}_{çıkış} \quad (10)$$

$$\dot{Ex} = \dot{m} \times \varphi \quad (11)$$

Ekserji denklemlerindeki “ φ ” spesifik ekserji kavramını temsil etmektedir. Entalpi ve entropi değerleri ile hesaplanabilmektedir.

$$\varphi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (12)$$

Ekserji sıkıştırılamayan maddeler için denklem (13.1)’den türetilen (13.2) ile verildiği gibi hesaplanabilmektedir. Burada kullanılan entalpi ve entropi özgül ısı ile hesaplanabilir [36].

$$\dot{Ex} = \dot{m}(C(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0})) \quad (13.1)$$

$$\dot{Ex} = \dot{m} \left(CT - CT_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) \quad (13.2)$$

Burada C, kürlenene ana ürünün hammaddesinin özgül ısısını temsil etmektedir.

Nemli havanın ekserji değeri aşağıdaki (14.1) ya da (14.2) numaralı Wepfer eşitlikleri ile hesaplanabilmektedir [25, 27, 37].

$$\begin{aligned} \varphi_a = (C_{p,a} + C_{p,v})T_0 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right) - 1 - \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] + (1 + 1,6078\omega)R_a T_0 \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) + \\ R_a T_0 \left\{ (1 + 1,6078\omega) \ln \left[\frac{(1+1,6078\omega_0)}{(1+1,6078\omega)} \right] + 1,6078\omega \ln \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right\} \end{aligned} \quad (14.1)$$

$$\begin{aligned} \varphi_a = (C_{p,a} + \omega C_{p,v})(T - T_0) - T_0 \left[(C_{p,a} + \omega C_{p,v}) \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) - (R_a + \right. \\ \left. \omega R_v) \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \right] + T_0 \left[(R_a + \omega R_v) \ln \frac{(1+1,6078\omega_0)}{(1+1,6078\omega)} + 1,6078\omega \ln R_a \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] \end{aligned} \quad (14.2)$$

$$\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} \quad (15)$$

4.5 – Termodinamik Parametreler

Boya kürlene fırının sistem performans ölçümü ve iyileştirilmesi için yapılan değeriendirilmelerde termodinamik parametreler de göz önünde bulundurulmuş ve yorumlanmıştır. [41, 42, 43].

Eksergetik Faktör,

$$\xi_i = \frac{\dot{F}_i}{\dot{F}_{Toplam}} \quad (16)$$

Relatif Tersinmezlik,

$$X_i = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_{Toplam}} \quad (17)$$

Yakıt tüketim oranı,

$$\delta_i = \frac{\dot{F}_i}{\dot{F}_{Toplam}} \quad (18)$$

Verimlilik eksikliği,

$$\xi_i = \frac{\dot{I}_i}{\dot{P}_{Toplam}} \quad (19)$$

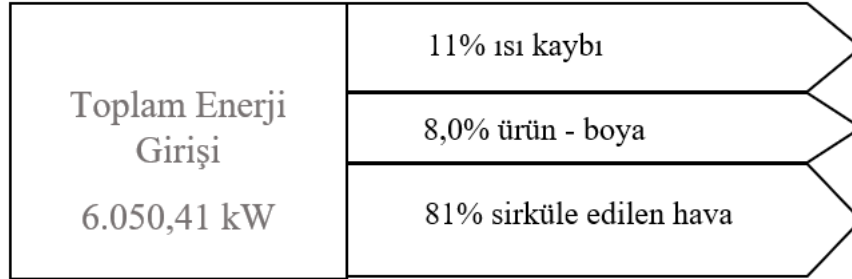
İyileştirilebilirlik potansiyeli,

$$IP = (1 - \varepsilon) \times (\dot{E}x_{giriş} - \dot{E}x_{çıkış}) \quad (20)$$

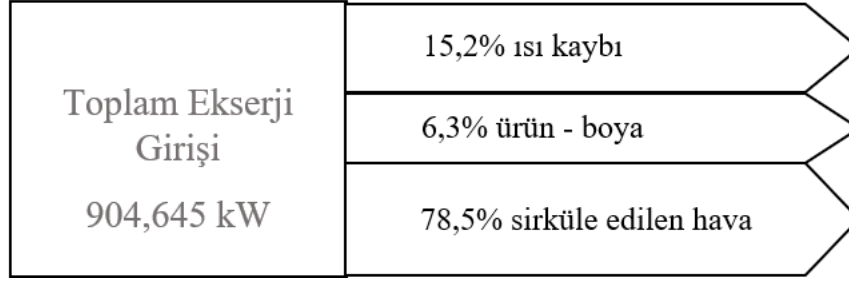
5- BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemleri kapsamında ilgili verilerin alındığı bu tesiste, analizi yapılan ürün grubundan 2019 yılında yaklaşık olarak 350.000 adet üretilmiştir, Yapılan analizler sonucunda bir işlem süresinde 50 adet ürün için yalnızca boya kürleme prosesinde denklem (8) yardımı ile 713,15 kW ısı kaybı olduğu hesaplanmıştır, Bu bilgiler birlikte göz önüne alındığında 2019 yılındaki boya kürleme fırınında açığa çıkan ısı kaybı miktarı 2.465,42 MWh; toplan enerji ihtiyacı ise 41.209,42 MWh olduğu sonucu elde edilecektir [44], Boya kürleme fırının toplam ekserji yıkımı ise denklem (9) ile 137,82 kW olarak hesaplanmıştır,

Yapılan analizlerle, boya kürleme fırının mevcuttaki toplam enerji ve ekserji ihtiyaçları tespit edilmiş, sistemdeki dağılımları alt diyagramlarda gösterilmiştir, Bu diyagramlar sayesinde enerji ve ekserji kayıplarının büyük kısmının sirküle edilen hava için kullanıldığı yorumu yapılmaktadır, Bunun yanı sıra sistemde ikinci büyük enerji ve ekserji kaybını yaratan ısı kaybını engellemek ya da bu parametrelerin değişimi elverişli gelmez ise aynı enerji miktarlarında daha çok ürün paydası/girişi yaratmak da sistemde verim artışına neden olacaktır,



Şekil 4 Enerji akış diyagramı



Şekil 5 Ekserji akış diyagramı

$$\dot{E}x_{yıkım} = \dot{E}x_{giriş} - \dot{E}x_{çıkış} \quad (21)$$

Hesaplanan özgül ekserji ve ekserji değerleri alt tabloda yer almaktadır.

Tablo 3 Boya kürleme fırınının enerji, ekserji değerleri ve termodinamik parametreler tablosu

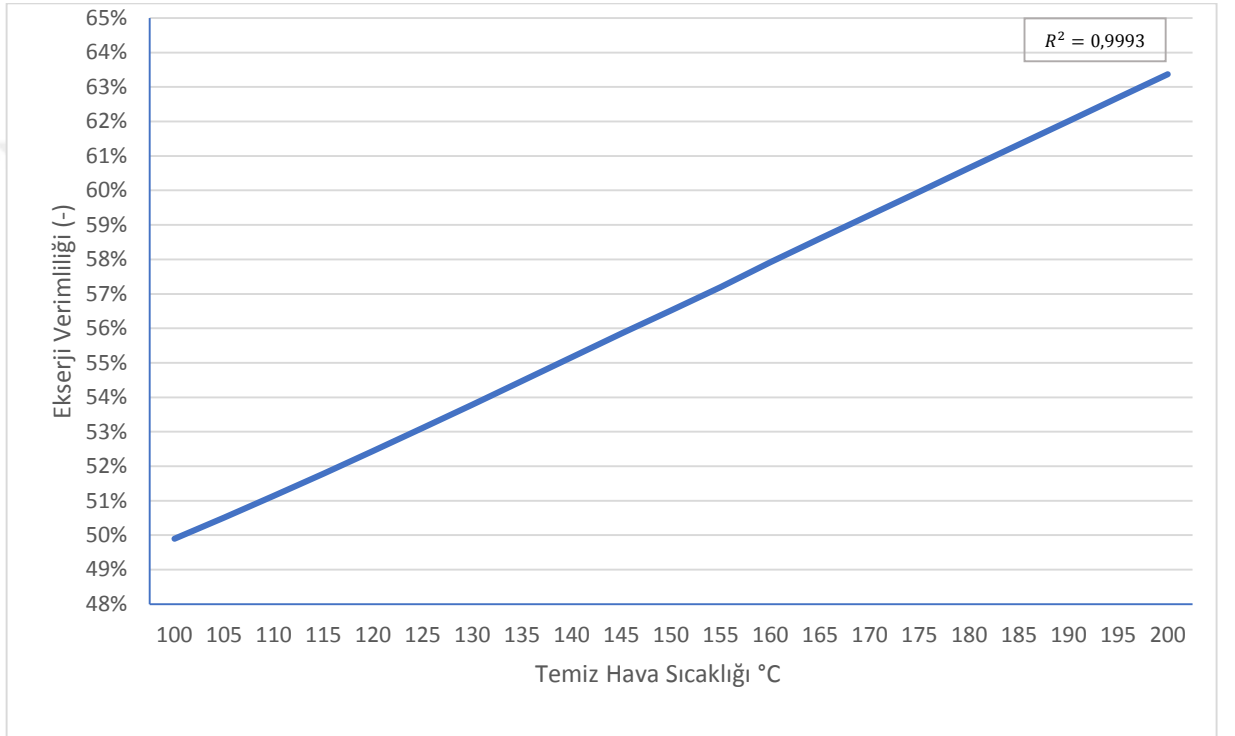
		Sıcaklık T (K)	Kütleli Debi $\dot{m}$ (kg/s)	Özgül Isı C (kJ/kgK)	Enerji E (kW)	Özgül Ekserji φ (kJ/kg)	Ekserji Ex (kW)	Eksergetik Faktör ξ (%)	Relatif Tersinmezlik X (%)	Verimlilik Eksikliği ε (%)	Yakıt Tüketim Oranı δ (%)
1	Temiz Hava	303.15	1.169	1.006	356.43	45.793	53.521	0,000	3,202	0,000	0,000
2	Temiz Kurutma Hava	393.15	1.169	1.015	466.39	66.701	77.956	0,442	4,664	0,442	0,102
3	Islak Boyalı Ürün	309.15	0.258	0.465	82.11	0.027	0.007	0,002	0,000	0,002	0,043
4 – a	Boyasız Ürün	309.15	0.250	0.465	-	0.027	0.007	0,002	0,000	0,002	0,000
4 – b	Kuru Boyalı Ürün	353.15	0.250	0.465	71.88	1.730	0.432	0,147	0,026	0,147	0,005
5	Egzoz Gazı	333.15	1.169	1.01	416.88	48.396	56.563	0,055	3,384	0,055	0,005
6	Isıtılmış Kurutma Hava	353.15	14.667	1.013	5,544.01	52.715	773.161	0,147	46,256	0,147	0,023
7	Sirkülasyondaki Kurutma Hava	333.15	14.667	1.01	5,231.33	48.395	709.793	0,055	42,465	0,055	0,282
	Solvent Giriş	309.15	0.008	1.61	4.07	0.094	0.001	0,002	0,000	0,002	0,540
	Solvent Çıkış	353.15	0.008	1.3	3.83	4.835	0.040	0,147	0,002	0,147	0,000

Prosesin ekserji verimliliği denklem (22)'ye göre %84,77 olarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\dot{E}x_{çıkış}}{\dot{E}x_{giriş}} \quad (22)$$

Şekil 5'te boya kürleme fırının, temiz hava sıcaklık değerinin 5 °C derecelik değişimler ile değişim trendinin grafiği verilmektedir. Bu grafik sonucunda elde edilen denklem (23.1), bu sistem için denklem (22)'e bir alternatif olarak ekserji verimliliğinin hesaplanmasında kullanılabilmektedir.

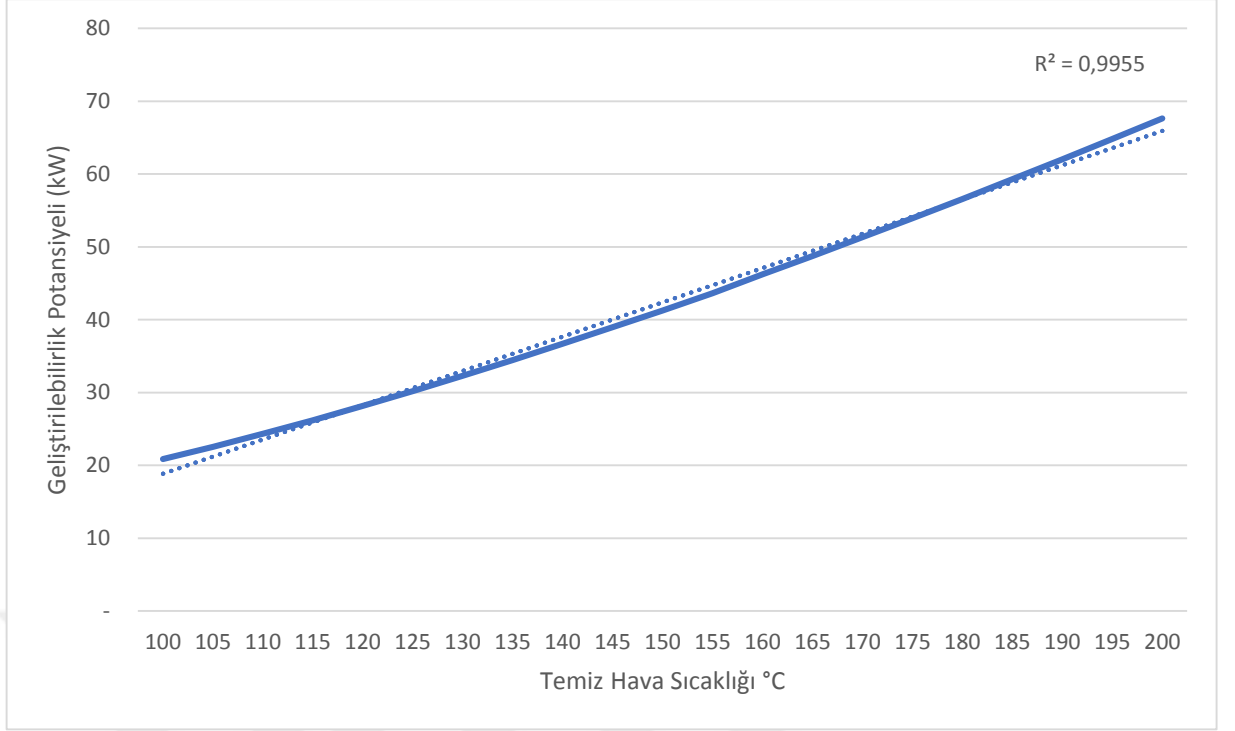
$$\varepsilon = 0,4941e^{0,012T_{\text{Temiz hava}}} \quad (23.1)$$



Şekil 6 Ekserji verimliliğinin, sisteme giren temiz hava sıcaklığına göre değişimi

Boya kürleme fırınının termodinamik analizleri sırasında incelenen bir diğer parametre olan geliştirilebilirlik potansiyeli (IP) denklem (20)'deki eşitlik ile farklı temiz hava sıcaklık değerlerine (°C) göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda alt denklem elde edilmektedir [41, 45].

$$IP = 2,3551T_{\text{Temiz Hava}} + 16,482 \quad (23.2)$$



Şekil 7 Temiz hava sıcaklık (°C) değişimine göre sistemin geliştirilebilirlik potansiyeli grafiği

5.1 – Eksergoekonomik Analiz

Sistemin hesaplanan eksergoekonomik analiz verileri ve analizde kullanılan parametrelerin detayları Tablo (3)'te verilmektedir [27, 37, 39].

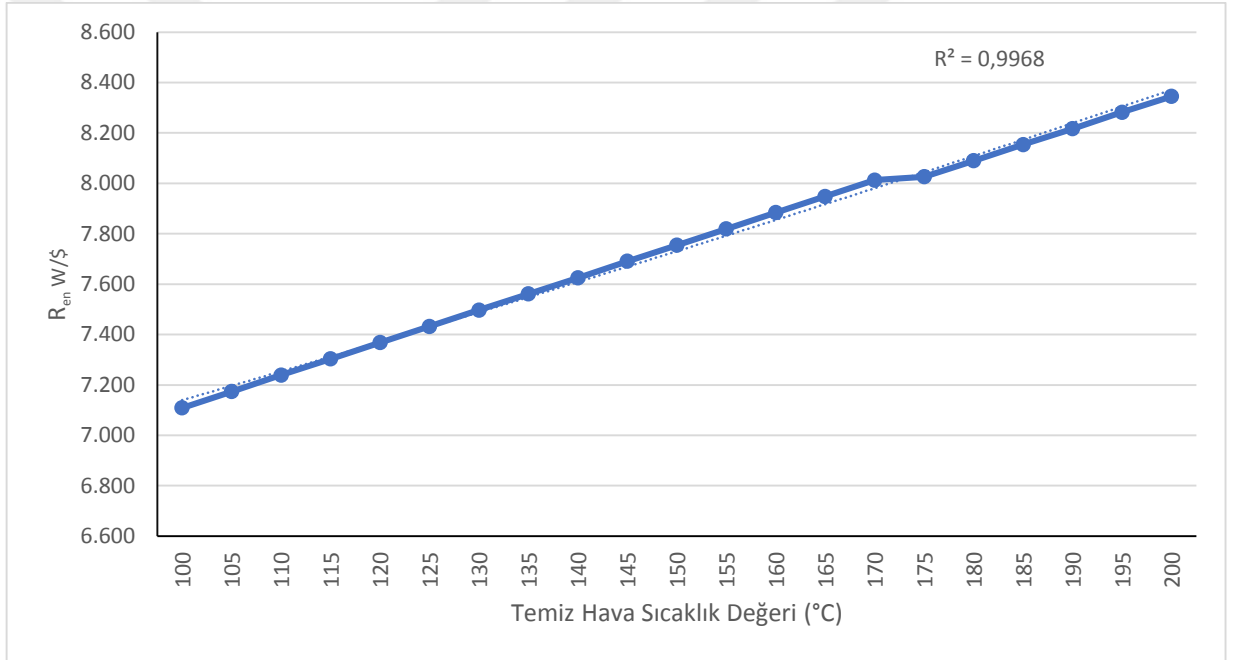
Tablo 4 Sistemin (boya kürleme fırınının) eksergoekonomik parametreleri

K	Toplam Proses Bedeli	Yatırım Bedeli + Ortalama İşletme, Bakım Masrafı	(24)
L_{en}	Sistemin Toplam Enerji Kaybı	$\sum_{giren} \text{Enerji} - \sum_{çıkan} \text{Enerji}$	(25)
L_{ex}	Sistemin Toplam Ekserji Kaybı	$\sum_{giren} \text{Ekserji} - \sum_{çıkan} \text{Ekserji}$	(26)
R_{en}	Eksergoekonomik parametre	$R_{en} = \frac{L_{en}}{K}$	(27)
R_{ex}	Eksergoekonomik parametre	$R_{ex} = \frac{L_{ex}}{K}$	(28)

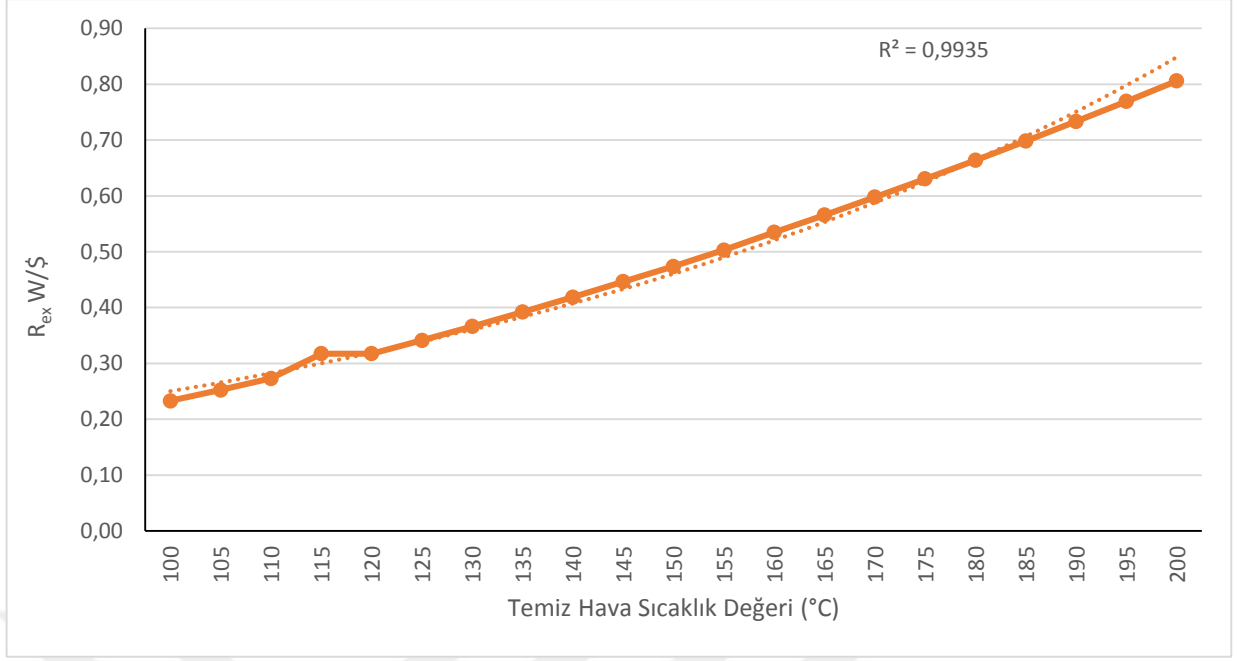
Şekil (7) ve şekil (8)'deki grafiklerde, denklem (24) ve (25) ile bulunabilecek olan eksergoekonomik parametrelerin temiz hava sıcaklığına (°C) göre değişimleri vermektedir, bu grafiklerden elde edilen denklem (29) ve (30) ile boya kürleme fırının enerji ve ekserji kayıpları ve yatırım tutarı oranları “T” ile ifade edilen temiz hava sıcaklık değerinin (°C) değişimine göre bulunabilecek olan denklemleri vermektedir.

$$\bullet R_{en}=7,083e^{0,008T} \quad (29)$$

$$\bullet R_{ex}=0,236e^{0,061T} \quad (30)$$



Şekil 8 R_{en} değerinin temiz hava sıcaklık değerine göre değişim grafiği



Şekil 9 R_{ex} değerinin temiz hava sıcaklık değerine göre değişim grafiği

5.2 – Yaşam Döngüsü Analizi ve CO₂ Emisyonu

Bir sistem için yaşam döngüsü analizi (LCA) temel olarak dört adımda incelenebilmektedir, analizdeki hedef ve kapsamının tanınması yani sistemin analizi, varlık analizi tüm girdi ve çıktıların ele alınması, yaşam döngüsü etkisinin analizi; sistem/süreç çıktılarının LCA amacına göre sınıflandırılması ve son olarak yapılan analizlerin yorumlanması. Varlık analizi sırasında sistemin enerji tüketimi değerlendirilirken, tüme bakılınca yaşam döngüsü analizi, CO₂ emisyonu, su ve hava kirlenme oranı gibi etkilere göre 20’den çok metot ile değerlendirilebilir [46, 47]. Yapılan ürün yaşam döngüsü analizleri sonucunda özel sektör ve kamu kuruluşlarınca daha verimli ve çevre dostu ürün ve süreç tasarımı yapabilmek ortaya çıkacak sonuçlardan biri olarak değerlendirilebilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda LCA analizleri için çeşitli yazılımlar kullanılmakta ve üçüncü parti hizmet sağlayıcılarından destek alınmaktadır.

5.2.1 Ürün yaşam döngüsü amaç ve kapsamı

Günümüzde artan enerji tüketimi sonucu mevcut olan her alanda tüketimde tasarrufa gidilmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada da LCA amaç ve kapsamı, incelemenin yapıldığı fabrikadaki boyahane hattında yer alan enerji ve ekserji analizleri yapılan boya kürleme fırınının çevreye olan etkilerinin araştırılması ve yatırımın geri dönüş süresinin incelenmesidir.

5.2.2 Sistem girdi ve çıktılarının analizi

4. bölümde yapılan analizler sonucunda sistemdeki enerji tüketimi, ekserji yıkımı ve enerji – ekserji verimleri hesaplanmış, farklı temiz hava sıcaklık değerine (°C) göre sistemin eksergoekonomik analizlerine göre toplam yatırım, işletme, bakım giderleri ile enerji ve ekserji kayıplarına göre kurulan oranlarda eksergoekonomik parametre değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4’te görülebilmektedir.

5.2.3 Sistemdeki CO₂ emisyon hesabı

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nin Tier1 hesaplama yöntemine göre denklem (31)’a göre sistemin, sistemde kullanılan yakıt türü ve enerji tüketim miktarı göz önüne alınarak CO₂ emisyon hesabı yapılmıştır. Hesaplamalarda Tier1’in seçilme nedeni kimyasal reaksiyonların ihmal edilmesi ve kullanılan parametrelerin yöntemine uygun olmasıdır. Burada CF sistemdeki elektrik, doğalgaz tüketimi, ulaşım gibi eylemler sonucu salınan CO₂ eşdeğer miktarı; AD sistemde tüketilen ya da üretilen yakıt türünü; EF kullanılan yakıtın birim yükünü vermektedir [48]

$$CF=AD \times EF$$

(31)

Birim emisyon faktörü, daha önce yapılan çalışmaların [49] incelenmesi sonucu $EF = 0,6 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ olarak alınmıştır. Yapılan araştırmada sistemin mevcut hali ile bir proses süresindeki CO_2 emisyon miktarı 3.025,205 (kgCO_2/kWh)/yıl; bir yıl boyunca salınan emisyon miktarı ise 24.725,652 (kgCO_2/kWh)/yıl olarak hesaplanmıştır.

5.2.4 Ürün yaşam döngüsü analizi yorumlanması

LCA yapılırken, ürünün hammadde temininden başlanılıp kullanım ömrü sonlanmasına kadar devam eden kapsamlı bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu durumda incelenen sistemin bulunduğu fabrika için ürün yaşam döngüsü analizi yapabilmek için yalnızca tek bir prosesin CO_2 emisyonu ve yatırım geri dönüş süresi hesapları ile değerlendirme yapmak yeterli olmayacak ve kalan proseslerin de incelenmesi gerekecektir. Bu nedenle ilgili işletmeden sürdürülebilirlik politikaları ve proses yatırım kapsamı hakkında bilgi sağlanmıştır. İncelenen fırının değer kaybı olmadan geçen sürenin 3 yıl olduğu ve 3 yıl ardından bakım masraflarının da göz önüne alınması gerektiği ile ürün toplam ömrünün 15 yıl olarak beklendiği belirtilmiştir. Enerji tüketimindeki hesaplanan düşüş ile yatırım geri dönüş süresi göz önüne alındığında sistem yatırım geri dönüş süresinin kısalması beklenir.

5.3 – Kurutma / Kırleme Süresi

Yeni askı tasarımı ile belirtilen mevcut yıllık üretim kapasitesi için toplam kuruma/kırleme süresi yaklaşık %33 oranında azaldığı belirlenmiştir. Mevcut ve olası yıllık kuruma süresi hesaplanırken, boyanın kuruması/kırleme sürecinde birtakım kimyasal reaksiyonların meydana geldiği ve bu sürenin boyadan beklenen kalite seviyelerinin sağlanabilmesi için bu çalışmada değiştirilemeyeceği dikkate alınmıştır.

6- SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen boya kürleme fırınında, enerji ve ekserji girdilerinin en büyük yüzdesi sirkülasyondaki havanın sıcaklığının korunması için harcanmaktadır, giren toplam enerjinin yalnızca %8'i ve toplam ekserjisini %6,3'ünü kürleme yapılan ürün oluşturmaktadır. Yapılan eksergoekonomik analizler sonucunda, enerji kaybı/yatırım oranı mevcut kurutma havası sıcaklık değerinde $R_{en}:7,37 \text{ W}/\$$; ekserji kaybı/yatırım oranı ise de $R_{ex}:0,32 \text{ W}/\$$ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan tüm analizler ile birlikte fırının henüz üç yıldır kullanılıyor olması gibi yatırım değerleri ve zamanı birlikte değerlendirildiğinde, verimliliğin artırılması için proses tasarım kriterlerinin değiştirilmesinin önerilmesi mantıklı bulunmamıştır. Bu nedenle yapılan gözlemler ve hesaplamalar sonucunda verimliliğin artırılabilmesi için en kolay ve en ucuz çözüm fırına bir proses süresinde giren ürün adetini arttırmak olacağı önerisinde bulunulabilmektedir. Mevcut durumda fırında bir proses süresinde yalnızca 50 adet ürün işleme tabi tutulmaktadır, yeni tasarlanacak bir askı sistemi ile tek seferde bu sayıdan daha çok ürün aynı kurutma zamanı içinde ve aynı enerji girdileri ile kürleme işlemine tabi tutulacak olup, enerji girdilerindeki ürün yüzdesi artırılarak verimliliğin artırılması hedeflenmektedir.

Bahsedilen yeni askı sistemi tasarımında aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Maksimum ürün uzunluğu
- Askı sistemindeki ürün asılma sıklığı
- Boyanın damlama potansiyeli
- Hareket kapasitesi
- Ürünleri bir sonraki prosese aktarılması için toplama kolaylığı.

Yukarıdaki parametreler değerlendirildiğinde, fırının tek proses süresinde alabileceği toplam ürün adeti 75 adet olarak belirlenmiştir. Önerilen çözüm ile birlikte analizin yapıldığı parametrelerle değerlendirme yapıldığında ve yıllık üretilen ürün adeti sabit kabul edildiğinde toplam enerji ihtiyacı %13,25 kadar azalmaktadır. Denklem (30) a göre yapılan CO₂ emisyon hesabı ile tüketilen enerji

miktarı ile doğru orantılı olduğu yorumu yapılabilir. Önerilen çözüm önerisi ile birlikte CO₂ emisyonunun da %13,25 oranında azalması beklenmektedir [50]. Sonuç olarak karbon salınımı, yapılan bu tasarımsal iyileştirme sayesinde ele alınan yıllık üretim verilerine istinaden yıllık 327,63 (kgCO₂/kWh)/yıl azaltılabilecektir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Lou, H. H., Huang, Y. L., (2000) Integrated Modeling and Simulation for Improved Reactive Drying of Clearcoat, Industrial & Engineering Chemistry Research, 39 (2), 500-507
2. Henshaw, P., Prendi, L. & Mancina, T., (2006), A model for the dehydration of waterborne basecoat, J Coat. Technol. Res. 3, 285–294
3. Mehdipour, R., Ashrafizadeh, A., Daun, K. J. & C. Aghanajafi (2010) Dynamic Optimization of a Radiation Paint Cure Oven Using the Nominal Cure Point Criterion, Drying Technology, 28:12, 1405-1415
4. Saranjam, N., Chandra, S., Mostaghimi, J. et al. (2016) Orange peel formation due to surface tension-driven flows within drying paint films. J Coat Technol Res 13, 413–426
5. Yenikaya, S., Salihoglu, G., Salihoglu, N. K, Yenikaya, G., (2018), Microwave Drying of Automotive Industry Paint Sludge, Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, Volume 22, Issue 4
6. Cavalcante, E. S., Vasconcelos, L. G. S., Neto, G. W. F., Ramos, W. B., Barito, R. P., (2020) Automotive painting process: Minimizing energy consumption by using adjusted convective heat transfer coefficients, Progress in Organic Coatings, Volume 140, 105479, ISSN 0300-9440
7. Kadoura, M., Saranjam, N., Chandra, S., Fan, H., (2016), Nucleation of bubbles during drying of sprayed paint films, Progress in Organic Coatings, Volume 99, Pages 452-462,
8. Saranjam, N., Chandra, S., (2016) Bubble Clustering in Drying Paint Films, Industrial & Engineering Chemistry Research 55 (50), 12825-12835
9. Özgener, L., Hepbaşlı, A., Dinçer, I., and Rosen, M. A., (2007), Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: a case study. Appl. Therm. Eng., 27(8/9), 1303–1310.
10. Özgener, L., & Özgener, Ö. (2009). Exergy analysis of drying process: An experimental study in solar greenhouse. Drying Technology, 27(4), 580-586.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

11. Yıldırım D., Özgener L., (2012), Thermodynamics and Exergoeconomic analysis of geothermal power plants, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 8, Pages 6438-6454, ISSN 1364-0321.
12. McBane, B.N., (1999), Automotive Coatings, FSBT, Philadelphia
13. Turkey Electricity Statistics February 2021, EMO, 2021 Retrieved From: https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369 (In Turkish)
14. Challener, C. (2006) Journal of Coatings Technology, 3(7), 28.
15. Sukhodolya, A., Cherepnina, T., Kostyuk, I., & Klimenko, V. (2021). Investigation of the paint curing mechanism. Transportation Research Procedia, 57, 667-671.
16. Doğru, A.K., Çamcıoğlu E., Özgener, L., and Özgener, Ö., (2021), Thermodynamics analysis of biomass fired brick drying process, International Journal of Exergy Vol. 35, No. 4, pp 421-437
17. Giampieri, A., Ling-Chin, J., Ma, Z., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2020). A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. Applied Energy, 261, 114074.
18. Szargut, J., Morris, D, R., and Stewart, F, R, (1988), Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes, (Edwards Brothers Inc., USA),
19. Çengel, Y,A,, Boles, M,A,, (2000), Thermodynamics: an engineering approach, McGraw Hill-Literature, İstanbul,
20. Özgener, L, Hepbaşlı, A, Dinçer, I,, (1988), Exergy analysis of two geothermal district heating systems for building applications, Energy Conversion and Management; 48(4):1185–92,
21. Dinçer, I, (2002), On energetic, exergetic and environmental aspects of drying systems, International Journal of Energy Research, 26(8), 717-727,
22. Vishnuvardhan, R,M,, Chandramohan, V,P, (2020), Energy end exergy analysis of forced and natural convection indirect solar dryers: Estimation of exergy inflow, outflow, losses, exergy efficiencies and sustainability indicators from drying experiments, Journal of Cleaner Production
23. Keey, R,B,, 1992, Drying Principles and Practice , Pergamon Press , New York,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

24. Kudra, T., Mujumdar, A.S., (2002), *Advanced Drying Technologies*, Marcel Dekker, New York,
25. Dinçer, I., & Şahin, A. Z., (2004), A new model for thermodynamic analysis of a drying process, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 645–652,
26. Özgener, L., Hepbaşlı, A., Dinçer, I., and Rosen, M. A., (2007), Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: a case study, *Appl, Therm, Eng.*, 27(8/9), 1303–1310,
27. Özgener, L., (2007), Exergoeconomic analysis of small industrial pasta drying systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part A. Journal of Power and Energy*: 221:899–906
28. Özgener, L., Özgener Ö., (2009), Parametric study of the effect of reference state on energy and exergy efficiencies of a small industrial pasta drying process, *International Journal of Exergy*, Vol 6, No. 4
29. Koli, S.; Fadhel, A.; Farhat, A.; Belghith, A., (2007), Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions, *Mathematical modeling and experimental validation*, *Journal of Food Engineering*; 79 (3), 1094–1103,
30. Özgener O., Özgener, L., (2015) Modeling of driveway as a solar collector for improving efficiency of solar assisted geothermal heat pump system: a case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 46, Pages 210-217, ISSN 1364-0321,
31. Dogru, A. K., Özgener, O., & Özgener, L. (2021). Evaluation of the efficiency of the dryers in thermoplastic vulcanisate extrusion production lines with the energy and exergy analysis method. *International Journal of Exergy*, 36(2-4), 361-381.
32. Özgener L., Özgener O., Monitoring of energy exergy efficiencies and exergoeconomic parameters of geothermal district heating systems (GDHSs), *Applied Energy*, Volume 86, Issue 9, 2009, Pages 1704-1711,
33. Holman JP. *Experimental methods for engineers*. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2001. p. 48–143.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

34. Özgener, L., Hepbaşlı, A., & Dinçer, I. (2007). Parametric study of the effect of reference state on energy and exergy efficiencies of geothermal district heating systems (GDHSs): an application of the Salihli GDHS in Turkey. *Heat Transfer Engineering*, 28(4), 357-364.
35. Özgener, L., Hepbaşlı, A., & Dinçer, I. (2005). Thermodynamic analysis of a geothermal district heating system. *International Journal of Exergy*, 2(3), 231-245.
36. Bejan, A. (1988) *Advanced Engineering Thermodynamics*. Wiley, New York
37. Wepfer, W.J., Gaggioli, R.A. and Obert, E.F., (1979), Proper evaluation of available energy for HVAC, *ASHRAE Transactions*, Vol. 85, No. 1, pp.214–230.
38. Özgener, O., Özgener, L., & Dinçer, I. (2009). Analysis of some exergoeconomic parameters of small wind turbine system. *International Journal of Green Energy*, 6(1), 42-56.
39. Özgener L., Özgener O., (2010), Exergoeconomic analysis of an underground air tunnel system for greenhouse cooling system. *International Journal of Refrigeration* 33, 2010, 995-1005.
40. Baskut, O., & Özgener, L. (2012). Exergoeconomic assessment of a wind turbine power plant (WTTP): Cesme, Izmir, example. *Energy*, 47(1), 577-581.
41. Holman JP. *Experimental methods for engineers*. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2001. p. 48–143.
42. Özgener, L., Hepbaşlı, A., & Dinçer, I. (2007). Parametric study of the effect of reference state on energy and exergy efficiencies of geothermal district heating systems (GDHSs): an application of the Salihli GDHS in Turkey. *Heat Transfer Engineering*, 28(4), 357-364.
43. Hammond, G.P., Stapleton, A.J., 2001. Exergy analysis of the United Kingdom energy system. *Proc. Inst. Mech. Engrs*. 215 (2), 141–162.
44. Ratio of Electricity Produced from Renewable Sources in Turkey Report, ÇŞB Retrieved From: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yenilenebilir-kaynaklardan-uretilen-elektrik-orani-i-85810> (In Turkish)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

45. Özgener, L., Hepbaşlı A., Dinçer, I., (2005), Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey, Geothermics, Volume 34, Issue 5, Pages 632-645, ISSN 0375-6505,
46. Yi, L., Glatt, M., Sridhar, P., de Payrebrune, K., Linke, B.S., Ravani, B. and Aurich, J.C., (2020). An eco-design for additive manufacturing framework based on energy performance assessment. Additive Manufacturing, 33, p.101120.
47. ISO, ISO 14040 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO (2006) <https://www.iso.org/standard/37456.html>],
48. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. General Guidance and Reporting, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>. Erişim Tarihi:23.05.2022
49. Dulkadiroğlu, H., 2018. Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 1, 67-74.
50. Tonini, D., Astrup, T., (2012) LCA of biomass-based energy systems: A case study for Denmark, Applied Energy, Volume 99, Pages 234-246, ISSN 0306-2619,
51. Uzunoğlu, B., Kardan Şaftının Geometrik Modellenmesi Ve Sonlu Elemanlar Analizi, 2006, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

TEŞEKKÜR

Öncelikle her zaman yanımda olan ve beni destekleyen ailem, yüksek lisans eğitimime başlamamdaki teşvikleriyle madden ve manen yanımda olan çok sevgili arkadaşlarıma, teşekkürlerimi bu çalışmam ile iletmeğ isterim. Gerek lisans gerek yüksek lisans eğitimimde bilgi ve tecrübesi ile bana çok şey kazandıran ikinci danışmanım olan Prof. Dr. Leyla ÖZGENER'e ve en çok da yüksek lisans eğitimimde bana çok şey kazandıran, bilgi ve tecrübesi ile yol gösteren, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Önder ÖZGENER'e teşekkürlerimi sunarım.

25/05/2022

Zeynep Naz AYVALI

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, ilk ve orta öğretimlerini İzmir Bayraklı Osman Çınar İlköğretim Okulunda; lise eğitimini Karşıyaka Atakent Anadolu Lisesinde tamamlamış. 2019 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden Onur Öğrencisi derecesi ile mezun olmuştur.

Yazar, 2019 – 2021 yılları arasında yerel bir trafo üreticisi bünyesinde İhracat Satış Mühendisi olarak yer almış ardından 2021 yılı itibari ile otomotiv yan sanayi parça üreticisi olan kardan mili üreticisi olan yerli bir şirkette Satış Mühendisi pozisyonunda çalışmaktadır. İleri seviye İngilizce dil bilgisi ve IATF 160949 İç Tetkikçi Belgesine sahiptir.